

분산제어 시스템의 구성 방법 및 성능 평가

Configuration Methodology and Performance Evaluation of Distributed Control Systems

°김 평 수, 권 옥 현

서울대학교 전기공학부 (Tel: 880-7314; Fax: 871-7010; E-mail: kps@cisl.snu.ac.kr)

Abstract This paper presents the configuration methodology of Distributed Control System(DCS)s for process plant and their performance evaluation. Performance evaluation is specified both in terms of operational and installation aspects of system. In order to evaluate performance criteria of operational aspect, a simulation method is proposed. Modeling of system components including process computer, database, process controllers and LANs, etc, is implemented for simulation. Based on these characteristics, different system configurations are evaluated and compared through results about evaluation criteria in order to select the best DCS for particular process. The results, in abbreviated form, of the performance evaluation of DCS controlling a CAL(Continuous Annealing Line) plant of iron process are presented.

Keyword DCS(Distributed Control System), Modeling, Simulation, Performance Evaluation, CAL(Continuous Annealing Line)

1. 서론

플랜트의 감시 및 제어를 위한 분산 제어 시스템은 다양한 특성을 필요로 한다. 기존의 분산 제어 시스템은 가능한 한 어떤 특정한 요구를 만족시키기 위한 특수한 구성으로 이루어져 왔다. 특히 이런 형태의 시스템들은 각 노드에서 프로세싱 능력을 최대한으로 활용한다고 가정할 수밖에 없기 때문에 모든 요소 요소가 요구 사양보다 크게 구성된다. 이 때문에 구성 요소간의 통신, 데이터 수집이나 프로세스 제어에 등과 같은 시스템의 동작 면에서의 성능은 만족될 수는 있지만 비용 면에서는 비합리적이다 [1]. 비용 및 성능간에 만족할 만한 균형을 얻기 위해 분산 제어 시스템은 각각의 응용에 대해 특정한 요구들에 대해 부합하도록 선택되어야 한다.

본 논문에서는 성능과 비용간에 균형을 얻기 위해 사용 목적에 적합한 분산 제어 시스템의 구조를 제안하는 방법 및 제안 구조에 대해서 성능 평가를 수행하는 방법을 제시한다.

제안된 구조에 대해 동작 측면에서의 평가 요소와 설비 측면에서 평가 요소를 고려하여 성능 평가를 수행한다. 동작 면에서의 평가 요소는 구성 요소의 부하율, 태스크 처리 시간, 태스크 처리의 실시간성, 네트워크의 부하율 및 응답 시간, 구성 요소간의 응답 시간, 제어기간 연계 제어의 실시간성으로 나누어진다. 설비 측면에서의 평가 요소는 세부적으로 시스템 설치의 용이성, 운전자 조작 및 정보 관리의 효율성, 유지 및 보수 용이성, 비용의 합리성, 개방형 구조로 나누어진다.

제안한 구조의 동작에 대한 타당성을 부여하고 동작 측면의 성능 평가를 위해 모의 실험을 수행한다[2,3]. 모의 실험은 프로그램을 통하여 시스템의 동작을 표현하며 원하는 데이터를 얻어 낼 수 있고, 대상 시스템의 세부 동작까지도 이해할 수 있다.

사용 목적에 적합한 분산 제어 시스템의 구조 제안 및 성능 평가에 관한 연구를 포함 제철 공장의 생산 라인 중의 하나인 CAL(Continuous Annealing Line)에 적용하는 예를 보인다.

제 2 장에서는 분산 제어 시스템의 일반적인 구성 및 각 구성 요소의 기능을 소개하고, 제 3 장에서는 분산 제어 시스템의 구조 제안 및 성능 평가 방법에 대해 설명한다. 제 4 장에서는 분산 제어 시스템의 모델링과 모의 실험 방법을 임의의 시스템을

으로 들어 보인다. 제 5 장에서는 실제 철강 플랜트를 위한 분산 제어 시스템의 구조를 제안하고 각 구조에 대해 성능 평가를 수행한다. 제 6 장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

2 분산 제어 시스템의 구조 제안

사용 목적에 적합하고 주어진 시스템의 요구 조건에 대해 최적의 분산 제어 시스템을 얻는 과정은 크게 분산 제어 시스템의 구조 제안과 성능 평가로 나누어진다. 구조 제안의 과정은 우선 제어할 대상 플랜트를 자세히 분석하여 전체 시스템이 갖추어야 할 구성 요소를 결정한다. 이러한 구성 요소를 바탕으로 몇몇 분산 제어 시스템의 구조를 제안한다. 제안된 구조는 2절에서 언급한 개념을 바탕으로 행해진다.

분산 제어 시스템의 구조 제안은 컴퓨터 기술 분야의 환경 변화인 다운 사이징(Downsizing), 클라이언트 서버(Client Server), 사용자 컴퓨팅(End-User Computing), 개방형 시스템 구조(Open System Architecture)를 근거로 행해진다[4,5,6].

시스템에 대해 구성 요소들이 수행해야 할 태스크들에 대해서 자세히 분석하여 태스크의 종류를 정하고 각 태스크의 주기 특성 및 다른 구성 요소와의 통신 관련 내용을 확실히 한다. 이러한 내용은 전체 시스템 및 각 구성 요소에 대해 모델링을 행하는데 매우 중요한 참조 내용이 된다. 모든 조건하에서 충분한 응답 시간을 얻기 위해 분산 제어 시스템의 구조는 기능 분산과 성능 계획의 두 가지 관점을 고려하여 제안한다.

3. 성능 평가 요소

제안된 각 분산 제어 시스템의 성능 평가를 위해 크게 두 가지를 요소를 참조한다. 동작 측면의 평가 요소와 설비 측면의 평가 요소의 조합으로 각 시스템에 대해서 성능 평가를 수행한다. 동작 측면의 평가 요소는 각 구성 요소의 부하율, 태스크 처리 시간, 네트워크의 부하율 및 응답 시간, 중요 태스크 처리의 실시간성, 제어기간 연계 제어의 실시간성, 구성 요소간의 응답 시간, 서비스를 기다리는 평균 대기 시간 등이 있고, 설비 측면의

평가 요소로는 시스템 구축의 용이성, 운전자 조작 및 정보 관리의 효율성, 유지 및 보수용의 용이성, 설치 가격의 합리성, 개방형 구조 등이 있고

동작 측면에서의 평가 요소에 대한 내용은 다음과 같다. 구성 요소의 태스크 평균 처리 시간은 태스크들이 서비스를 받기 위해 기다리는 평균 대기 시간과 서버에 의한 평균 서비스 시간의 합으로 계산된다. 구성 요소의 부하율은 자원이 전체 수행 시간 동안 얼마만큼 이용되었는가에 대한 평가 요소로서 서비스를 받기 위해 기다리는 평균 대기 태스크의 수와 서버의 부하율의 합으로 이루어진다. 여기서 서버의 부하율은 태스크의 평균 서비스 비율에 대한 평균 도착 비율로 계산된다. 중요 태스크 처리의 실시간 만족성 검증은 구성 요소의 태스크들 중에는 주기 시간 내에 틀림없이 응답을 해야 하는 태스크에 대해서 한다. 다시 말해서 이 평가 요소는 구성 요소 내에서 태스크 스케줄링이 얼마나 우수하게 되었는가에 대한 지표라 할 수 있다. 이를 만족시키기 위해 실시간 처리를 요구하는 태스크에 대해서는 우선 순위(Priority)를 두어 서비스를 우선적으로 받도록 해야 한다[7,8]. 구성 요소간의 응답 시간은 임의의 구성 요소에서 발생한 사건이 전송 목적적인 구성 요소에 도착하는데 걸리는 시간이다. 주로 전체 시스템의 하위 구성 요소에서 전송된 현장의 각종 정보를 상위 구성 요소로 전송하는데 걸리는 시간이나, 다른 구성 요소가 내린 명령들 중에서 우선적으로 응답을 요구하는 태스크에 대해 응답 시간을 구한다.

설비 측면의 평가 요소에 대한 내용을 다음과 같이 설명한다. 시스템의 구축의 용이성은 처음에 시스템을 공정 라인에 설치할 때 여러 조치가 필요 없이 빠른 시간 안에 설치될 수 있는나이다. 예를 들어 단일 네트워크를 사용해서 모든 구성 요소를 연결시키는 것이 여러 네트워크를 분리해서 계층적으로 연결시키는 것보다 용이할 것이다. 운전자 조작 및 정보 관리의 효율성은 공정 라인의 상황이나 각종 정보에 대해서 얼마나 쉽고 신속히 처리하고 효율적으로 관리할 수 있는나의 평가 요소이다. 유지 및 보수용의 용이성은 전체 시스템의 구성 요소는 모두 유기적으로 연결되어 동작하기 때문에 어느 한 부분의 고장은 다른 요소에 영향을 미치게 된다. 이런 경우 얼마나 신속히 시스템에 많은 시간 동안 영향을 주지 않고 처리되는나가 중요하다. 설치 가격의 합리성은 원하는 성능에 대해 얼마나 비용을 줄일 수 있는나 하는 요소로 시스템 구축 면에서의 가장 근본적인 평가 요소라 할 수 있다.

실제적으로 제안한 구조들이 위에서 언급한 두 가지 면에서의 평가 요소에 대해 모두 만족하기는 매우 어렵다. 만약 만족한다면 이는 매우 엄청난 비용이 사용되어야 할 것이다. 하지만 이런 경우 성능 및 비용을 모두 고려한 합리적인 구조 제안이라는 기본 개념의 의미가 없다. 따라서 각 시스템에 대해 우선적으로 만족해야 하는 평가 요소에 대해서 가중치를 두어 최적의 시스템 구조를 얻을 수밖에 없다.

4. 모델링 및 모의 실험 방법

수행해야 할 태스크와 태스크의 특성을 근거로 각 구성 요소를 모델링 한다. 구성 요소의 모델링을 위해 필요한 태스크는 [그림1]에서와 같이 구성 요소 내부에서만 동작하는 태스크와 사용자의 명령이나 요구 입력에 대해 응답하고 네트워크를 통해 다른 구성 요소와 통신하는 외부 태스크로 나눌 수 있다. 또한 이들은 발생 빈도의 속성에 따라 일정한 주기를 가지고 발생하는 주기성 태스크, 비주기적으로 발생하는 비주기성 태스크 그리고 어떤 특정 사건이 발생했을 때 이와 관련해서 발생하는 이벤트성 사건으로 나누어진다.

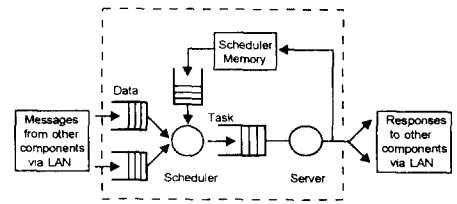


그림 1. 구성요소의 모델
Fig 1. Model of configuration unit

모델을 구성하는 요소를 살펴보면 태스크들에 대해서 서비스 순서를 정해 주는 스케줄러(Scheduler), 스케줄링이나 서비스를 받기 위해 기다리는 큐(Que), 서비스를 수행하는 서버(Server), 그리고 다른 구성 요소에서 전송된 정보를 저장하고 내부 태스크에 대한 처리를 수행하기 위한 일정 기억 장소(Scheduler Memory)로 구성이 된다.

제안한 구조의 동작에 대한 타당성을 부여하고 동작 측면의 성능 평가를 위해 모의 실험을 수행한다. 모의 실험은 프로그램을 통하여 시스템의 동작을 표현하며 원하는 데이터를 얻어낼 수 있고, 대상 시스템의 세부 동작까지도 이해할 수 있다. 뿐만 아니라, 정상 상태의 동작 및 시스템의 부하가 동적으로 변하는 경우와 과도 상태의 동작에 관한 데이터 획득도 가능하다. 또한 구성 요소 및 구성 요소의 태스크 발생 주기나 수행 시간과 같은 특성 등을 변화시키면서 여러 방법으로 실험을 하여 각 제안 구조의 성능 평가를 위한 결과를 얻어낼 수 있다.

5. 철강 공정 CAL에의 적용

5.1 현재 설치된 CAL 제어 시스템의 개요

CAL(Continuous Annealing Line)은 철강 공정 라인 중 완제품 단계로서 높은 강도의 철강을 생산하기 위해 철판의 열처리와 냉처리를 주로 행하는 생산 라인이다[9,10]. 실제 포항 제철 공장의 CAL 제어 시스템의 구성도를 [그림2]에 나타낸다.

기존 시스템의 구축 면에서 문제점은 기능 중복으로 인한 시스템의 효율 저하, 여러 가지의 독립 시스템 구축으로 인한 비용 증가, 특정 공급자 전용의 네트워크 사용으로 인한 시스템의 확장 및 교체 등이 있다. 본 장에서는 위와 같은 기존 시스템의 문제점을 개선하기 위해 몇몇 분산 제어 시스템의 구조를 제안하고 모의 실험을 위한 모델링을 한다. 각 구조에 대해 모의 실험 및 비교 평가를 통해 최적의 구조를 얻어낸다.

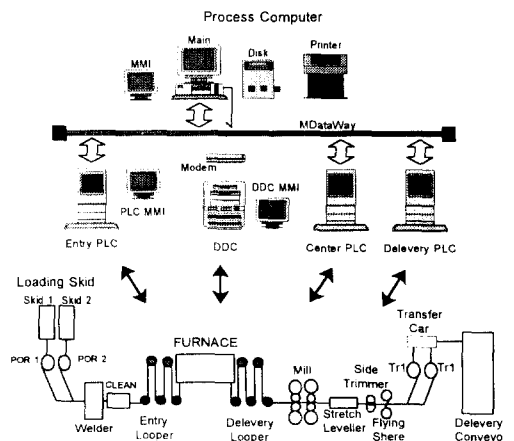


그림 2. CAL 및 기존 제어시스템의 구성도
Fig 2. Scheme of CAL and existing control system

5.2 분산 제어 시스템의 제안 구조

제안될 제어 시스템의 구성 요소를 보면 전체 시스템을 관리하는 운전부(Process Computer), 프로세스 상황을 화면으로 감시하는 MMI, 공정 데이터의 통합 관리를 위한 데이터 베이스, EWS, Printer, 디지털 제어를 중심으로 하는 PLC 및 아날로그 제어를 중심으로 하는 DDC를 포함하는 제어부로 이루어진다.

[그림3]에 나타낸 구조 1의 가장 큰 특징은 분산 제어 시스템의 구성 요소가 전송 속도가 10Mbps인 Ethernet 네트워크 상에 연결되어 있다는 것이고 MMI 및 데이터 베이스가 네트워크 상에 통합 형태 한 대로 이루어진다.

제안 구조2는 [그림4]과 같이 전체 시스템 네트워크의 부하량과 PLC들이나 DDC들간의 실시간 통신을 위해 PLC제어부를 위한 네트워크와 DDC 제어부를 위한 네트워크가 분리되어 존재한다. 이 네트워크들은 전체 시스템 네트워크와 GateWay를 통해서 연결된다. 시스템 네트워크와 DDC 네트워크는 3Mbps, PLC 네트워크는 10Mbps의 Ethernet으로 구성된다.

[그림5]의 제안 구조3은 MMI나 데이터베이스의 실시간 응답 및 저장을 위해 PLC 제어부, DDC 제어부에 각각 분산 배치된 구조이고 네트워크 사양은 구조 2와 동일하다.

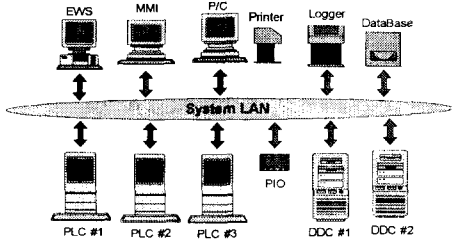


그림 3. 제안 구조1
Fig 3. Configuration1

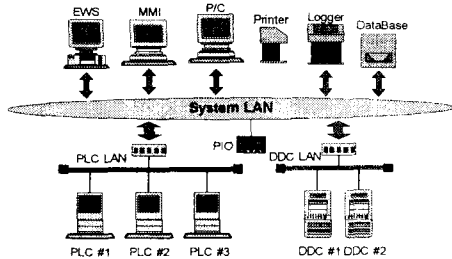


그림 4. 제안 구조2
Fig 4. Configuration2

5.3 구성 요소의 태스크

프로세스 컴퓨터는 플랜트 운전에서 필요한 감시, 조작 및 진단을 위한 부분으로 전체 시스템 구성 요소의 프로세스 정보를 총괄적으로 관리하는 부분이다. MMI는 운전 감시를 위해 각 제어부의 프로세스 입출력 정보들에 대해서 다양한 그래픽으로 화면상에 실시간으로 나타내는 일을 주로 하며 오퍼레이터 요구나 이상 상태 현상에 대하여 고속 응답을 제공한다. 데이터베이스는 프로세스 정보의 효율적인 운용 관리를 위해서 실시간으로 통합 관리하고 공유하기 위한 기능을 담당한다. PLC는 CAL에서 고속의 응답을 요구하는 디지털 제어를 중심으로 하며 소수의 아날로그 제어도 수행하는 부분이다. DDC는 수학적 알고리즘을 바탕으로 하는 아날로그 제어와 공정 라인의 설비 제어를 중심으로 행하는 부분이다. 네트워크는 임의의 구성 요소에서 동시 다

발적으로 발생된 정보를 처리하여 시간 내에 목적지 구성 요소로 응답한다.

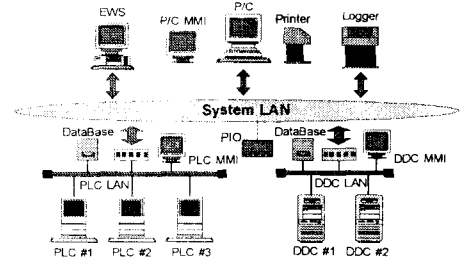


그림 5. 제안 구조3
Fig 5. Configuration3

5.4 실험 결과 분석 및 성능 평가

동작 측면에서의 결과를 [표1]부터 [표5]까지 나타낸다. [표1]에 나타낸 제안 구조의 부하율을 보면 합리적인 태스크 처리 시간의 한계를 고려할 때 일반적으로 약 40%가 적정 수준으로 간주되기 때문에 만족스럽다고 말할 수 있다. 네트워크 부하율은 일반적으로 약 10% 혹은 그 이내를 적당한 값으로 본다. 따라서 [표2]에 보인 제안 구조1의 19%는 상당히 좋지 않은 결과이다. 이는 모든 구성 요소간의 통신은 물론 상당한 고속 응답을 요구하는 제어기간의 연계 제어 태스크들이 모두 시스템 네트워크를 통해서 이루어지기 때문이라고 본다. 제안 구조 2의 결과가 가장 우수함을 표를 통해서 알 수 있다. [표3]에 나타낸 주요 태스크의 처리 시간을 보면 제안 구조3을 제외하고는 모든 한계치 이하임을 알 수 있다. [표4]에 나타낸 제어기와 상위 시스템간의 정보 전송 시간의 결과를 보면 단일 네트워크를 통하는 제안 구조1가 우수한 결과를 보인다. 마지막으로 우선 순위가 높지 평가 되는 제어기간의 연계 제어 태스크의 처리 시간을 보면 제안 구조1의 경우 한계 시간 50msec를 넘어 좋지 않은 결과를 보인다. 반면 다른 두 제안 구조는 PLC와 DDC에 대해 한계 시간 50msec와 500msec를 모두 만족함을 [표5]를 통해서 알 수 있다.

설비 측면에서의 결과를 분석하면 제안 구조1은 구조 형태에서 개방형 구조를 따르고 있다. 따라서 시스템을 설치하는데 다른 구조에 비해 상당히 용이하고 구성 요소의 확장이나 유지 및 보수 측면에서 유리하다. MMI 및 데이터 베이스가 통합형의 형태로 구축되었기 때문에 프로세스 상황의 감시 및 정보 관리의 일원화를 이룰 수 있다. 반면 모든 구성 요소가 시스템 네트워크에 연결되어 상호간의 통신 및 제어기간의 실시간 연계 제어가 이를 통하여 이루어지기 때문에 상당한 고속 고성능의 네트워크가 필요하게 되어 구축하는데 많은 비용이 들게 된다. 제안 구조2는 제어기간의 실시간 연계 제어를 시스템 네트워크를 통해서 수행하지 않고 제어부 네트워크를 통해 수행하는 구조이다. 따라서 시스템 형태에서 개방형 구조를 약간 벗어난 계층적 구조라 할 수 있다. 제어부 네트워크를 통해서 제어기간의 연계 제어가 이루어져 유리하지만 시스템의 설치, 유지 보수 측면에서 제어부 네트워크 부분이 고려되어 약간 어려움이 생긴다. 제안 구조3은 데이터 베이스와 MMI를 각 제어부에 분산 배치한 시스템이기 때문에 거의 개방형 구조의 의미와는 거리가 먼 계층적 구조이므로 시스템의 설치, 유지 보수, 프로세스 상황 및 정보 관리의 효율성 측면에서 다른 시스템에 비해 가장 불리하다.

따라서 동작 측면에서의 성능 평가 결과를 보면 네트워크의 부하율 및 응답 시간은 제안 구조2가 가장 우수하고, 제어기간 연계 제어의 태스크 처리 시간은 제어부 네트워크를 사용한 제안 구조2와 제안 구조3 모두 좋은 결과를 보이지만 약간은 제안 구조2가 좋은 결과를 보이고 있다.

하위 제어부에서 상위 구성 요소로의 응답 시간은 제안 구조1가 좋은 결과를 보였고 다른 평가 요소에 대해서는 세 구조가 모두 비슷한 결과를 보인다.

시스템의 설치 및 관리 면에서의 성능 평가 결과를 보면 시스템의 설치의 용이성은 구조적 측면에서 개방형 시스템의 구조를 따른 제안 구조1가 가장 용이하고, 운전자 조작 및 정보 관리는 통합형 MMI와 데이터 베이스로 구성된 제안 구조1와 제안 구조2가 효율적이다. 유지 보수용의 용이성은 제안 구조1, 설치 가격의 합리성은 제안 구조2와 제안 구조3이 나은 구조라고 할 수 있다.

표 1. 구성 요소의 부하율

Table 1. Utilization of configuration unit

	구조1	구조2	구조3
P/C	30.2%	33.4%	33.6%
MMI	13.5%	13.2%	14.1%
DB	11.2%	15.2%	26.4%
PLC	34.3%	34.3%	33.4%
DDC	23.0%	22.9%	23.1%

표 2. 네트워크 결과

Table 2. Results of LANs

		구조1	구조2	구조3
시스템	부하율	19.3%	11.9%	1.60%
	전송시간	0.056	0.063	0.012
PLC	부하율		10.9%	13.3%
	전송시간		0.003	0.006
DDC	부하율		6.90%	12.5%
	전송시간		0.022	0.0317

표 3. 주요 태스크의 처리시간

Table 3. Processing time of some tasks

		구조1	구조2	구조3
화면갱신	평균	0.1017	0.0616	0.0515
	최대값	0.3952	0.3316	0.3486
정보갱신	평균	0.0064	0.0012	0.0245
	최대값	0.0353	0.0209	0.3373

표 4. 제어기와 상위 구성요소간의 정보 전송시간

Table 4. Data transmission time between units

		구조1	구조2	구조3
P/C	평균	0.6068	0.7621	0.7280
	최대값	1.5680	1.6174	1.2388
DB	평균	0.0417	0.1123	0.0245
	최대값	0.0780	0.2577	0.3373

표 5. 제어기간 연계 제어

Table 5. Cascade control processing time

		구조1	구조2	구조3
PLC간	평균	0.0251	0.0178	0.0181
	최대값	0.0739	0.0309	0.0323
DDC간	평균	0.0312	0.1109	0.1138
	최대값	0.1123	0.2114	0.2448

6. 결론

본 논문에서는 성능과 비용간에 균형을 얻기 위해 사용 목적에 적합한 분산 제어 시스템의 구조를 제안하는 방법 및 제안 구조에 대해서 성능 평가를 수행하는 방법을 제시하였다. 연구 내용을 실제 공장 공정의 CAL(Continuous Annealing Line)에 적용하여 보였다.

성능 평가를 위해 크게 동작 측면과 설비 측면 두 가지를 고려하였다. 동작 측면에서의 요소는 각 구성 요소의 태스크 평균 처리 시간, 평균 부하율 및 중요 태스크의 실시간 처리의 만족성, 제어기간 연계 제어의 실시간성, 하위 제어부에서 상위 구성 요소로의 응답 시간 등으로 하였다. 설비 측면에서의 평가 요소로는 시스템 설치의 용이성, 운전자 조작 및 정보 관리의 효율성, 유지 및 보수용의 용이성, 설치 가격의 합리성, 개방형 구조 등으로 하였다. 제안한 구조에 대해 실제의 경우에 동작에 대한 타당성 부여 및 부하율, 태스크 처리 및 응답 시간의 평가를 위해 모의 실험을 이용하였다. 정상 상태 서비스는 물론 동작으로 변하는 상태에 대해서도 모두 고려한 모의 실험이었기 때문에 각 구성 요소의 다양한 측정 항목에 대해 실제의 경우와 거의 유사한 성능 곡선을 추적할 수 있다. 본 연구 내용을 실제 산업 공정 플랜트인 포항 제철 공장의 CAL에 적용하였다.

본 연구는 분산 제어 시스템의 전체 및 각 구성 요소의 동작을 표현하여 변하는 데이터를 얻어낼 수 있고, 전체 시스템의 동작은 물론 구성 요소의 세부 동작까지도 이해할 수 있고, 정상 상태의 동작 및 시스템의 부하가 동적으로 변하는 경우에 관한 데이터 획득도 가능하다. 따라서 시스템을 구성하는 요소들의 태스크 대부분이 주기적으로 행해지는 모든 연속적인 산업 공정 제어 시스템에 적용되어질 수 있다.

참고 문헌

- [1] J. Davison, J.L. House, "Mathematical Model for Simulation of Hierarchically Distributed Process Control Computer Systems", *Automatica*, vol 24, pp677-686, 1988
- [2] S.Horiike, Y. Okazaki and H. Soeda, "A Simulator for Performance Estimation of Open Distributed Computer Control Systems," *Proc. of IFAC DCCS'94*, pp 159-164, 1994
- [3] S.Horiike, Y. Okazaki, "Modeling and Simulation for Performance Estimation of Open Distributed Energy Management Systems" *Proc. of IEEE PICA95*, pp 437-442, 1995
- [4] P. Emmerich and J. Britton, "Benefit, Problems, and Issues in Open Systems Architectures", *IEEE Trans. on Power Systems*, Vol. 9, No.1, pp191-197, 1994
- [5] T. Rahkohen, "Open System in Distributed Industrial Control - A Critical Review", *Proc. the 12th IFAC. DCCS'94*, pp71-76, 1994
- [6] Dorel J, Damsker, "Toward advanced concurrency, distribution, integration, and openness of power plant Distributed Control Systems", *IEEE Trans. Energy Conversion*, vol 6, pp297-301, 1991
- [7] Jia Xu, David Lorge Parnas, "Scheduling Processed with Release Times, Deadlines, Precedence, and Exclusion Relations", *IEEE Trans. on Software Engineering*, Vol. 16, pp360-369, 1990
- [8] Allen, A., *Probability, Statistics and Queuing Theory with Computer Science Applications*, Wiley Interscience, New York, 1979
- [9] Y. Suzuki, K. mori, S.hori, etc., "Autonomous Decentralized Steel Production Process Control System", *Proceeding of IFAC DCCS'89*, pp63-66, 1989
- [10] Christopher D. Kelly, Dhani Watanapongse, "Application of Modern Control to a Continuous Anneal Line", *IEEE Control System Magazine*, pp33-37, 1988